Untersuchungen über Mischvorgänge bei der Herstellung von Teermischmakadam

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Lothar Haupt
aus Breslau.

Berichterstatter:
Professor Walter Hartleb,
Stadtbaurat a. D.

Mitberichterstatter:
Professor Ulrich Fischer,
Regierungsbaumeister a. D.

Tag der mündlichen Prüfung: 21. 12. 1938.

Druck von Wilhelm Knapp, Halle (Saale).

*4077

Vorliegende Arbeit wurde im Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule Breslau auf Veranlassung von Herrn Professor Walter Hartleb mit Unterstützung des Generalinspektors für das deutsche Straßenwesen und der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V. ausgeführt.

Herrn Professor Hartleb spreche ich auch an dieser Stelle für zahlreiche wissenschaftliche Anregungen, die für das Gelingen der Arbeit besonders wertvoll waren, meinen Dank aus.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

I. Zweck der Untersuchungen.
II. Kolorimeter-Safraninverfahren.
III. Anwendung des Kolorimeterverfahrens auf Mischungen im Laboratorium.
- Einfluß der Mischgeräte und ihrer Arbeitsgeschwindigkeit,
- Einfluß des Gesteinskornes,
- Einfluß der Bindemittelmenge,
- Einfluß der Mischdauer,
- Einfluß der Mischtemperatur,
- Einfluß der Gesteinsfeuchtigkeit,
- Einfluß des anhaftenden Gesteinsstaubes.

IV. Anwendung des Kolorimeterverfahrens auf Mischungen im praktischen Fabrikationsbetrieb.
- Einfluß der Mischgeräte und ihrer Arbeitsgeschwindigkeit,
- Einfluß des Gesteinskornes,
- Einfluß der Bindemittelmenge,
- Einfluß der Mischdauer,
- Einfluß der Mischtemperatur,
- Einfluß der Gesteinsfeuchtigkeit,
- Einfluß des anhaftenden Gesteinsstaubes.

V. Zusammenfassung der Ergebnisse.
Literaturverzeichnis.
Lebenslauf.

Mischvorgänge bei der Herstellung von Teermischmakadam.

I. Zweck der Untersuchungen.

Der Umhüllungsgrad eines bituminösen Gemisches ist ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung der Mischung. Die Möglichkeit, den Anteil der mit Bindemittel benetzten und der noch freien Oberfläche einer Mischung zahlenmäßig festlegen zu können, würde ein Prüfverfahren ergeben, das auch für die Praxis des bituminösen Straßenbaues Bedeutung erlangen könnte.

Mit dieser Frage hat sich bisher nur Dipl.-Ing. Gerlach[1]) eingehend beschäftigt. Er hat zunächst versucht, durch optische und durch rein chemische Untersuchungen den Umhüllungsgrad festzustellen. Schließlich hat er ein Verfahren entwickelt, das auf physikalisch-chemischer Grundlage beruht. Es benutzt zur Feststellung des Umhüllungsgrades eines bituminösen Gemisches, d. h. des Anteiles der nach dem Mischen noch nicht umhüllten Oberfläche des Gesteins, die Fähigkeit von festen Körpern, z. B. von Gesteinen, gelöste Stoffe aus ihrer Lösung anzuziehen, d. h. zu adsorbieren. Gerlach bringt zu diesem Zweck eine Probe der zu untersuchenden Mischung in eine Safraninlösung. Der Farbstoff dieser Lösung, das Safranin, wird von der noch nicht mit Bitumen umhüllten Oberfläche des Gesteins adsorbiert, die Farblösung wird heller. Der Grad der Entfärbung ist ein Maßstab für die Größe des nicht mit Bindemittel umhüllten Oberflächenanteiles.

Den Entfärbungsgrad stellt Gerlach in der Weise fest, daß er die heller gewordene Flüssigkeit durch sein Auge mit einer Farbskala vergleicht, die aus mit Safraninlösungen von verschiedener Konzentration gefüllten Reagenzgläsern besteht.

II. Kolorimeter-Safraninverfahren.

In der von Gerlach entwickelten Methode zur Feststellung des Umhüllungsgrades einer Bitumen-Gesteinsmischung macht sich die Messung durch das bloße Auge als ein Mangel bemerkbar, den auszuschalten das Ziel von Vorversuchen im Breslauer Laboratorium war.

Die Tatsache, daß eine Farblösung höherer Konzentration weniger lichtdurchlässig ist als eine solche mit geringerer Konzentration, legte den Gedanken nahe, durch die Farblösung einen Lichtstrahl hindurchzuschicken, der, je nach der Stärke der Farbkonzentration, mehr oder weniger geschwächt aus der Lösung heraustritt. Durch einen vom menschlichen Auge unabhängigen Apparat wird nun dieser Strahl gemessen. Aus den Unterschieden der einzelnen Messungen läßt sich die Konzentrationsänderung der Farblösung bestimmen. Dieser Wert bildet die Grundlage, um den Umhüllungsgrad eines Bindemittel-Gesteingemisches zu errechnen.

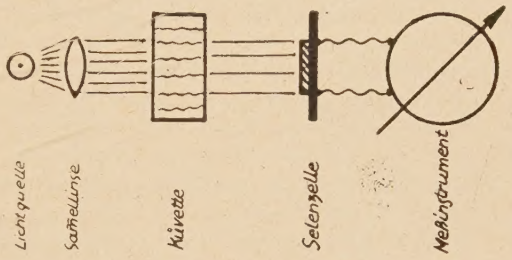


Abb. 1. Kolorimeter (einfache Schaltung).

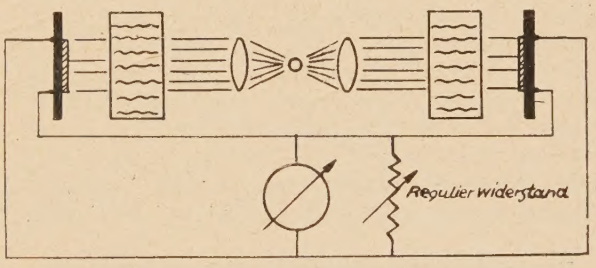


Abb. 2. Kolorimeter (Brückenschaltung).

Dieser Gedankengang führte zur Einschaltung eines lichtelektrischen Kolorimeters in den Prüfvorgang. Das Prinzip dieser Apparatur ist folgendes:

Von einer Lichtquelle, einer elektrischen Glühbirne, gehen Lichtstrahlen durch einen Glasbehälter, in den die zu prüfende Safraninlösung gegossen wurde. Die aus der Lösung heraustretenden Strahlen treffen auf ihrem weiteren Wege auf eine Selenzelle. Diese Zelle besitzt die Fähigkeit, Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Je größer die auf die Zelle fallende Lichtmenge ist, um so stärker wird der entstehende elektrische Strom. Dieser wird durch ein MA-Meter gemessen (Abb. 1). Der Ausschlag des Meßinstrumentes gibt den Grad der Adsorption an. Die Helligkeitsänderungen

1) Dissertation Gerlach, Technische Hochschule Berlin, 19. Februar 1936.

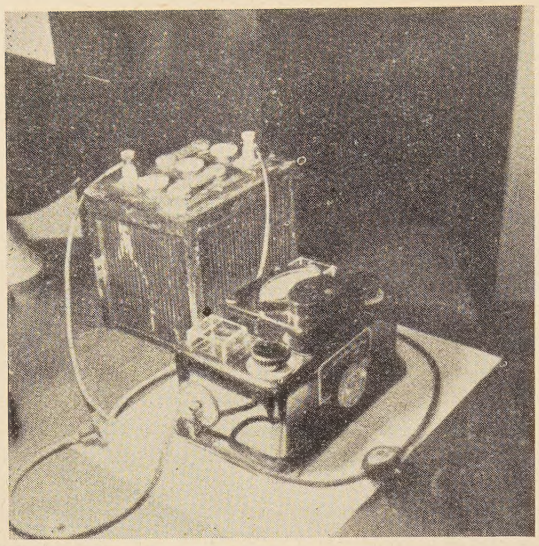


Abb. 3. Kolorimeter nach Dr. Lange.

der Farbstofflösungen zeigen sich jetzt als Zeigerausschläge des MA-Meters und die Ergebnisse der Untersuchungen sind nicht mehr von den Schwächen des menschlichen Auges abhängig.

Diese Methode in der eben beschriebenen Zusammenstellung ist aber stark abhängig von der Stärke der Lichtquelle und der Empfindlichkeit der Selenzelle. Dadurch fehlt für die Messung ein konstanter Anfangspunkt der Skala. An einem Beispiel sei es kurz erläutert. In der Küvette befindet sich eine 0,004 prozentige Safraninlösung, die Ausgangskonzentration für alle Versuche. Die Meßapparatur wird eingeschaltet und ergibt für diese Lösung einen Ausschlag von 30° am Zeigerinstrument. Nun wird die Küvette gegen eine andere ausgetauscht, die Safraninlösung von einer untersuchten Mischgutprobe enthält. Der Ausschlag des Instrumentes beträgt 40°. Nach einiger Zeit wird eine Wiederholungsmessung für die Ausgangslösung von 0,004 % vorgenommen, und dabei

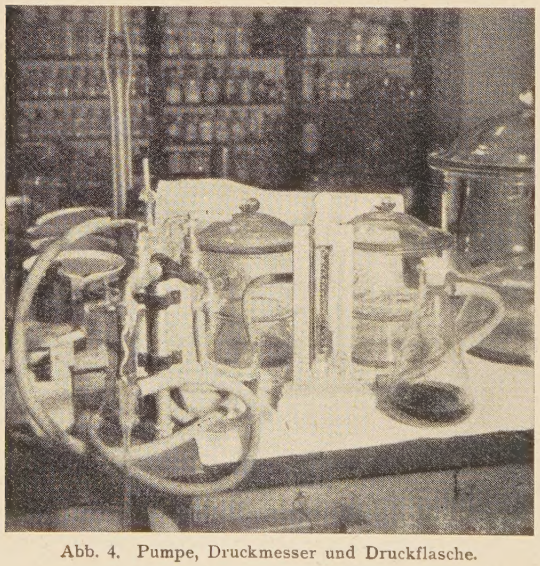


Abb. 4. Pumpe, Druckmesser und Druckflasche.

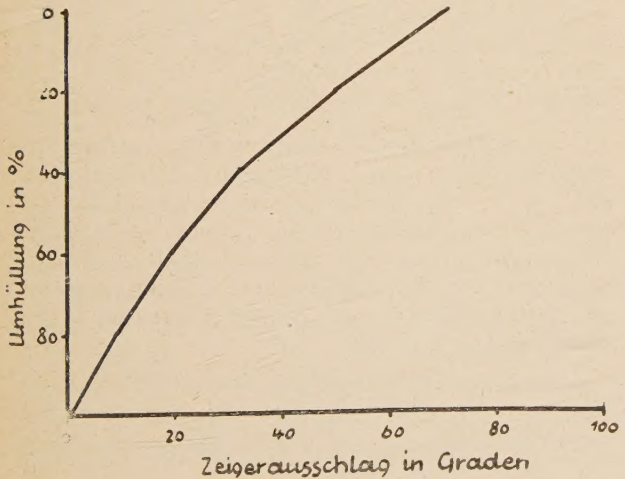
wird nun festgestellt, daß der Ausschlag nicht mehr bei 30° liegt, sondern kleiner oder größer geworden ist. Die Ursache für diese Ungenauigkeit liegt einmal in der schwankenden Lichtstärke der Lichtquelle. Schon eine geringe Änderung in der Helligkeit der Glühbirne infolge Schwankungen der zugeführten Betriebsspannung oder infolge Abnutzung der Lichtquelle zieht einen Ausschlag des Meßinstrumentes nach sich, der nicht mehr mit der ursprünglichen Ablesung übereinstimmt. Außerdem kann die Selenzelle altern und lichtunempfindlicher werden, so daß auch hier ein veränderter Zeigerausschlag die Folge ist. Es kann also eintreten, daß die gefundenen Werte von Versuchsreihen nicht miteinander verglichen werden können, da sich inzwischen der Ausgangspunkt der Messung verschoben hat. Diese Mängel sind aber für ein exaktes Arbeiten nicht tragbar und müssen abgestellt werden, wenn diese Methode brauchbare Ergebnisse liefern soll.

Diese Fehlerquellen können durch einen schaltungstechnischen Kunstgriff vermieden werden. Man benutzt zwei Selenzellen, die zusammen mit dem Meßinstrument in Brückenschaltung gelegt werden. Bei gleicher Beleuchtung der beiden Zellen fließt dann kein Strom durch das Meßinstrument, und der Nullpunkt bleibt unabhängig von der Lichtstärke der Lampe und somit auch unabhängig von der Betriebsspannung (Abb. 2). Ein für die Versuche brauchbarer Apparat wurde in dem Kolorimeter nach Dr. B. Lange gefunden. Dieses besteht aus einem Leichtmetallkörper mit einer eingebauten 15-Watt-Lampe für beliebige Spannung und Stromart als Lichtquelle. Rechts und links von der Lampe befinden sich je eine Küvette. Die Strahlen der Lampe fallen durch die beiden Küvetten und treffen dann auf die Selenzellen. Diese liefern bei Belichtung unmittelbar einen Strom, der der Lichtdurchlässigkeit und somit der Konzentration der Farblösung entspricht. Der Glühfaden der als Lichtquelle dienenden Lampe ist als einseitig offener Kreis ausgebildet. Dadurch ist die Strahlung nach verschiedenen Richtungen verschieden stark. Durch Drehen der Lampe kann die auf die Zellen fallende Lichtmenge so abgeglichen werden, daß beide Zellen gleich stark beleuchtet werden. Ein Drehknopf an der Vorderseite des Apparates dient zum Einstellen der Lampe. Das Meßinstrument wird durch zwei veränderliche Widerstände überbrückt, die die Empfindlichkeit des Kolorimeters regeln. Der Betrieb erfolgt entweder durch Anschluß an das Lichtnetz oder durch einen 6-Volt-Akkumulator bei entsprechendem Austausch der Glühlampe (Abb. 3). Während des Arbeitens mit Netzspannung zeigten sich Schwankungen, die ihren Ursprung im Lichtnetz hatten, so daß auf einen Betrieb mit Akkumulatoren übergegangen werden mußte. Durch Benutzung

einer eingebauten Irisblende läßt sich die Empfindlichkeit des Kolorimeters noch erhöhen.

Der Gang einer Untersuchung ist folgender: Von der Mischung, deren Umhüllungsgrad festgestellt werden soll, wird eine Probe entnommen, die für drei Mischungen ausreicht. Eine bestimmte Menge, die sich nach der Korngröße des verwendeten Gesteinmaterials richtet, wird in eine Druckflasche eingebracht und darauf die Safraninlösung zugegeben. Mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe wird die Flasche evakuiert (Abb. 4) und während fünf Minuten auf Vakuum gehalten. Um der Farbstofflösung die Möglichkeit zu geben, überall an die Oberflächen der Gesteinskörner zu gelangen, wird die Flasche während der Evakuierung dauernd vorsichtig geschwenkt. Nach Ablauf der fünf Minuten wird wieder der normale Luftdruck hergestellt und die Flasche für weitere fünf Minuten stehengelassen. Dann wird die Safraninlösung abgegossen und ist nötigenfalls nach einer kurzen Absetzzeit zur Messung im Kolorimeter bereit.

Für die Messung selbst werden zunächst beide Küvetten des Kolorimeters mit Safraninlösung der Ausgangskonzentration gefüllt. Die Lichtquelle wird eingeschaltet, und durch Drehen der Lampe mittels des vorn am Apparat befindlichen Knopfes wird die auf die Zellen fallende Lichtmenge so abgeglichen, daß beide Zellen die gleiche Beleuchtungsstärke haben. Damit ist der Nullpunkt ermittelt und das Instrument kann nun, falls erforderlich, auf größte Empfindlichkeit eingestellt werden. Nun wird eine der beiden Küvetten herausgenommen und gegen die ausgewechselt, in der sich die zu prüfende Lösung befindet. Das Resultat der Messung gibt der Ausschlag des Zeigers des MA-Meters an. Vorher mußten durch Versuche die Zeigerausschläge für 0, 20, 40, 60 und 80 % Umhüllung des Gesteins durch Bindemittel festgestellt werden. Für jedes Gestein und für jede Körnung sind diese Werte verschieden und werden zweckmäßig zu Kurven zusammengefaßt. Als Beispiel dafür zeigt die nachstehende Kurve die Werte für einen Basalt der Körnung 3—8 mm.



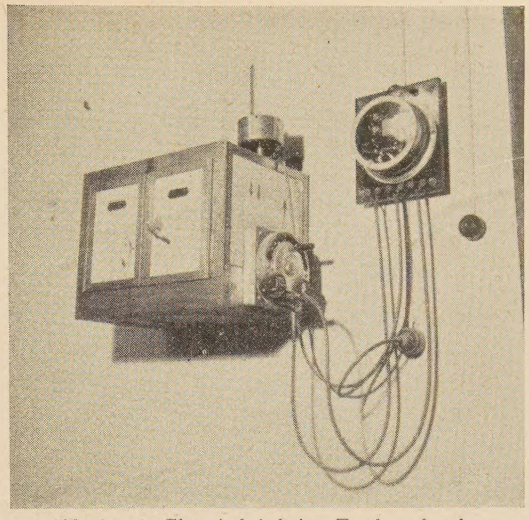


Abb. 5 u. 6. Elektrisch beheizte Trockenschränke.

III. Anwendung des Kolorimeterverfahrens auf Mischungen im Laboratorium.

Anfangs diente zum Aufbereiten des Gesteinsmaterials eine Trockentrommel Es handelte sich hierbei um eine kleine Trommel, die auch schon Gerlach zu seinen Arbeiten benutzt hatte. Sie hatte eine Länge von 70 cm bei einem Durchmesser von 30 cm. Ihre Umdrehungsgeschwindigkeit wurde durch Widerstände möglichst gering gehalten. Sie betrug ungefähr fünf Umdrehungen in der Minute. Das Mineral wurde zuerst von Hand gewaschen und kam dann in die Trommel. Die Beheizung der Trommel geschah durch Gas, die Messung der Temperatur durch ein im Innern der Trommel eingebautes Thermoelement, das durch die hohle Welle über Schleifringe und Stromabnehmer mit einem Millivoltmeter verbunden war. Trotz der geringen Umdrehungszahl stellte es sich heraus, daß durch das Fallen und Reiben der einzelnen Gesteinskörner unter sich Gesteinsstaub entstand, der sich auf dem Gestein festsetzte. Da

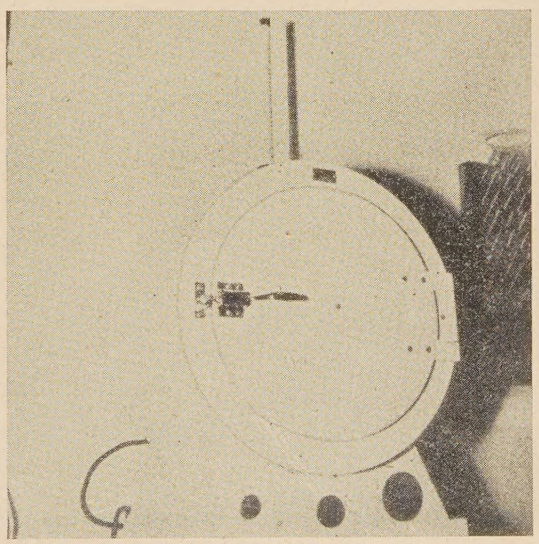


Abb. 6.

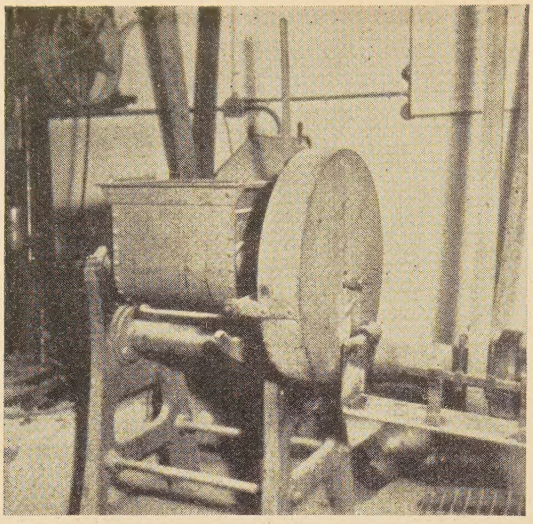


Abb. 7, 8 u. 9. Mischer von Werner & Pfleiderer.

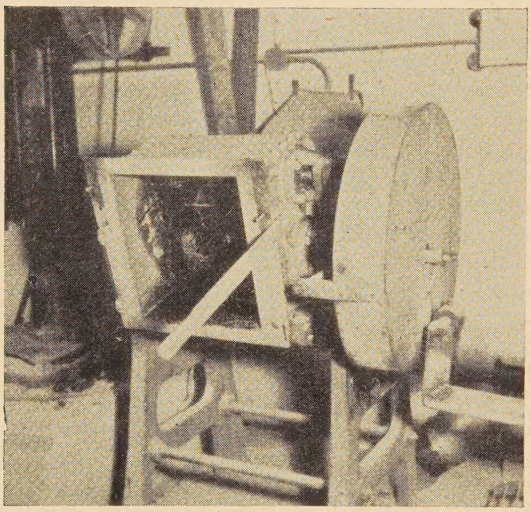


Abb. 8.

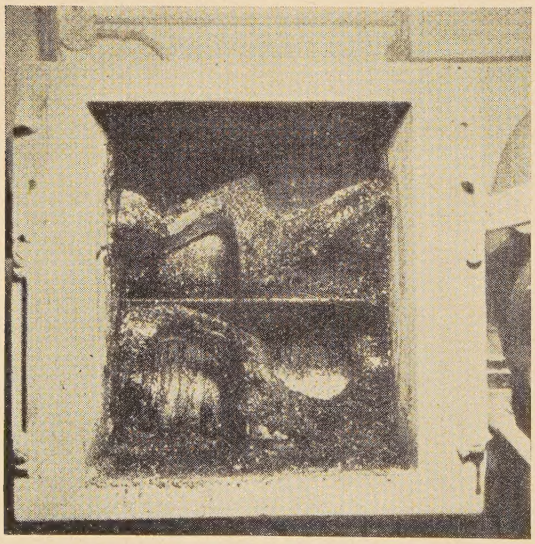


Abb. 9.

sich dieser Vorgang auch bei geringster Trommelgeschwindigkeit nicht vermeiden ließ, der Staub aber die Auswertung der Versuche unmöglich machte, mußte auf eine Verwendung der Trommel völlig verzichtet werden. An ihre Stelle traten zwei Trockenschränke (Abb. 5 u. 6), die elektrisch beheizt wurden und durch eine automatische Regelung ein genaues Einhalten der gewünschten Temperatur zuließen. Das gewaschene Gestein kam in Blechkästen in die Heizschränke, und die Trocknung wurde so weit getrieben, bis die Gewichtskonstanz einer Probe die Gewißheit gab, daß sämtliche Feuchtigkeit verdampft war.

Als Mischer standen im Laboratorium des Institutes für Straßenbauforschung an der Technischen Hochschule Breslau zwei verschiedene Typen zur Verfügung:

1. ein Fabrikat von Werner & Pfleiderer,
2. ein Mischer der Bauart Eirich.

Bei beiden konnte die Geschwindigkeit durch vorgelegte Widerstände geändert werden. Sie betrug 20—60 Umdrehungen je Minute für den Mischer von Werner & Pfleiderer und 25 bis 65 Umdrehungen je Minute für den Tellermischtrog des Eirich-Fabrikates.

Der Mischer von Werner & Pfleiderer (Abb. 7, 8, 9) bestand aus einem viereckigen Kasten, dessen Boden aus zwei halbrunden, nebeneinander liegenden Wannen gebildet wurde. Durch jede Achse dieser Wannen lief eine Welle, an der die Mischflügel befestigt waren. Diese reichten bis zur Wand der Wannen und bestrichen beim Drehen den gesamten Trogquerschnitt.

Beim Eirich-Mischer (Abb. 10, 11, 12) handelte es sich um einen Typ mit einem Fassungsvermögen von 50 l. Er bestand aus einem tellerartigen Trog, in dem Mischfinger durch Zahnradübersetzung in drehende und um den Mittelpunkt des Troges kreisende Bewegung gesetzt werden. Außerdem drehte sich der Trog selbst in entgegengesetzter Richtung.

Beide Aggregate waren zusätzlich mit Gasheizung versehen worden, um einmal die gesamte Maschine auf die benötigte Mischtemperatur vorwärmen und dann auch während des Mischvorganges die Temperatur halten zu können.

Die aufgegebene Gesteinsmenge betrug für beide Mischer 15 kg je Mischung. Als Gesteinsmaterial wurde bei den Versuchen im Laboratorium Basaltedelsplitt aus dem Steinbruch Rabishau in Schlesien verwendet. Das Bindemittel war für alle Versuche das gleiche, nämlich ein Straßenteer II mit einer Viskosität von 90 Sekunden bei 30° C.

Die Ergebnisse der Versuche mit den beiden Mischern waren in bezug auf ihre Konstruktion und ihre Umdrehungsgeschwindigkeit folgende:

Bei dem Mischer von Werner & Pfleiderer, der ein Fassungsvermögen von rund 30 l hatte, klemmten sich zwischen Mischflügel und Trogrand Gesteinskörner und wurden entweder zertrümmert oder führten bei kaltem Gestein und zähem Bindemittel zu einer vollständigen Blockierung der Mischarme und damit zum Stillstand des Mischers. Ein Wiederinbetriebsetzen der stehenden Maschine gelang nur in wenigen Fällen, so daß diese Mischungen für eine Beurteilung verloren waren. Aber auch bei den übrigen Mischungen mußte die Gesteinszertrümmerung berücksichtigt werden. Ein Vergleich der Siebanalysen des aufgegebenen Gesteins vor Beginn des Mischvorganges mit denen des durch Extraktion vom Bindemittel wieder befreiten Gesteins nach Beendigung des Mischens zeigte einen beträchtlichen Verlust an mittlerem Gesteinskorn und eine entsprechende Vermehrung des kleineren Kornes. Es wurde daher von jeder Mischung, nach Beendigung des Mischvorganges, durch Extraktion eine Gesteinsprobe wieder vom Bindemittel getrennt und eine Siebanalyse aufgestellt. Auf Grund dieser konnte dann die kolorimetrische Auswertung der Mischung erfolgen.

Die Versuche mit dem Tellermischer von Eirich zeigten eine gute Verwendbarkeit für die kleinen und großen Körnungen des Mischmakadams. Da die Untersuchungen an Mischern in der Praxis übereinstimmende Ergebnisse mit denen der Laboratoriumsversuche brachten, erfolgt die Beurteilung des Tellermischers von Eirich im Teil IV, der im ersten Abschnitt den Einfluß der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Mischgeräte im praktischen Fabrikationsbetrieb behandelt.

Das Ergebnis der Untersuchungen über den Einfluß der Umdrehungsgeschwindigkeit zeigt der Verlauf der Kurve in Abb. 16. Auf der einen Achse sind die verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten aufgetragen, während die andere die Werte des Umhüllungsgrades zeigt. Es ist daraus ersichtlich, daß mit steigender Umdrehungsgeschwindigkeit bei konstanter Bindemittelmenge, Mischzeit und Temperatur der Versuchsmischungen die Güte der Mischung am Anfang zunimmt, bei ungefähr 50 Umdrehungen je Minute einen Gipfelpunkt erreicht, um dann bei noch höheren Geschwindigkeiten wieder abzufallen. Bei beiden Mischern zeigten sich die gleichen Ergebnisse. Während der Anstieg der Mischgüte am Anfang der Kurve in der schnelleren Arbeit des Mischers begründet ist, findet das spätere Abfallen seine Erklärung darin, daß von einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit ab das Mischgut infolge der größeren Zentrifugalkraft aufgelockert und sogar weggeschleudert wird. Dieser Vorgang verstärkt sich um so mehr, je größer die Geschwindigkeit wird.

Es ist also zusammenfassend festzustellen, daß eine geringe Umlaufgeschwindigkeit der

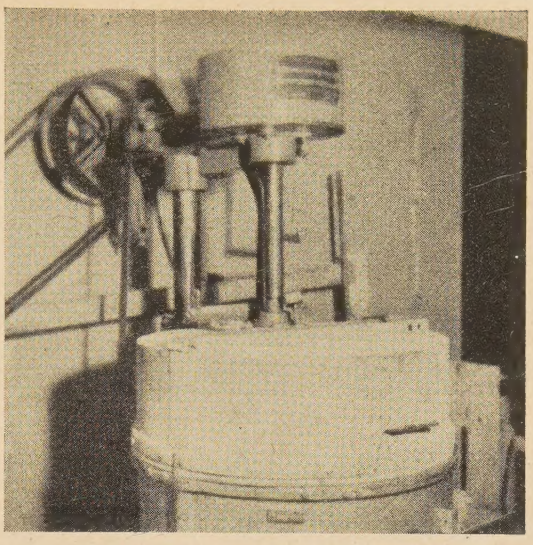


Abb. 10, 11 u. 12. Mischer von Eirich.

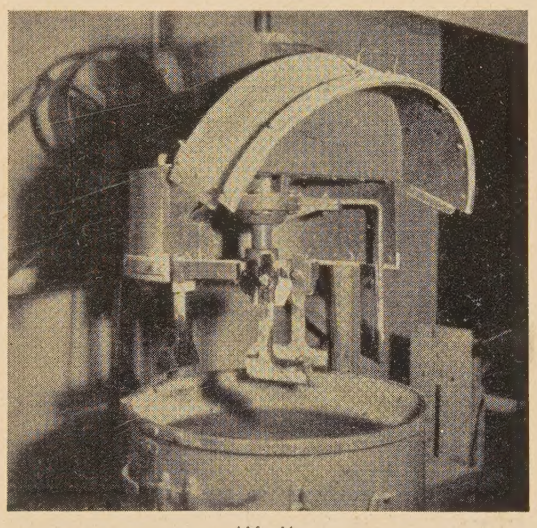


Abb. 11.

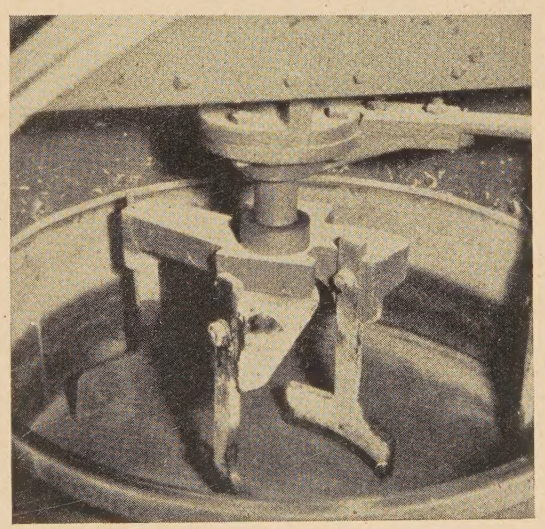


Abb. 12

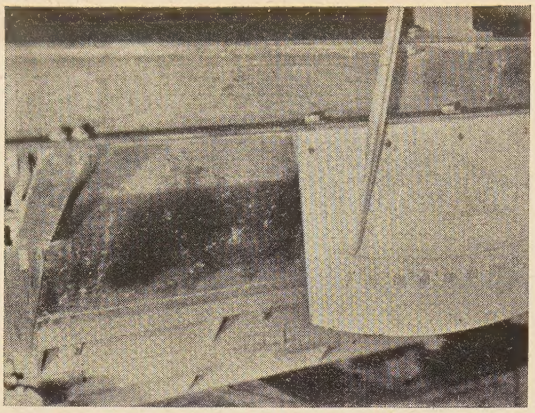


Abb. 13. Meßwagen mit Skala.

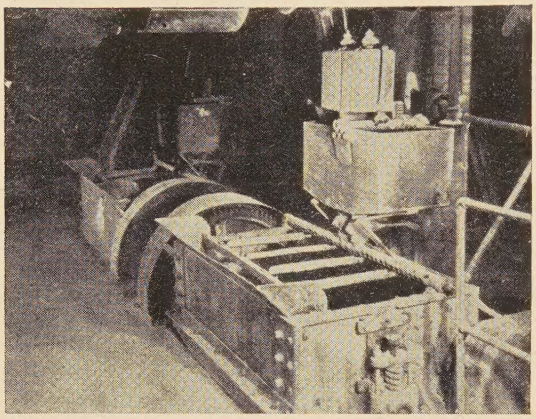


Abb. 14. Trogmischer.

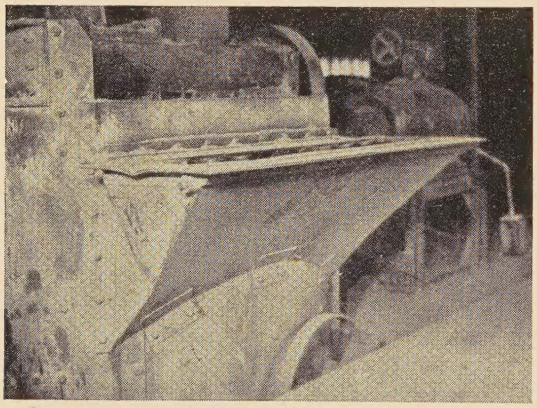


Abb. 15. Tellermischer.

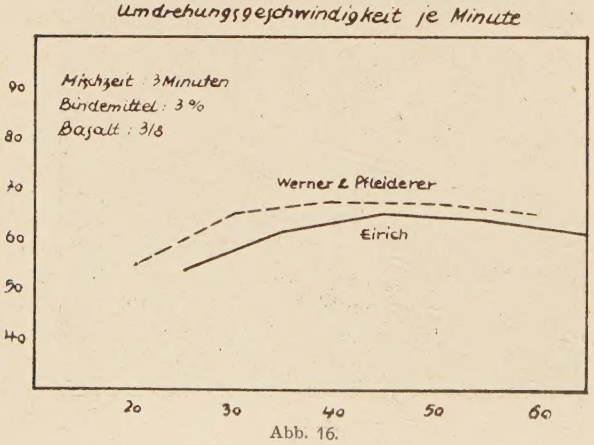


Abb. 16.

Mischorgane eine längere Mischzeit erforderlich macht. Es läßt sich für jeden Mischer eine günstigste Arbeitsgeschwindigkeit feststellen, sie lag bei den untersuchten Maschinen bei ungefähr 50 Umdrehungen je Minute. Wird die Drehzahl über diese kritische Zahl hinaus gesteigert, so tritt keine Verbesserung der Mischgüte ein, sondern diese verschlechtert sich sogar infolge des Auflockerns und Wegschleuderns des Mischgutes. Da beim Mischen mit geringer Geschwindigkeit die Verlängerung der Mischzeit für den praktischen Betrieb unbedeutend ist, erscheint es ratsamer, unterhalb der kritischen Drehzahl zu bleiben, da dann auch der Verschleiß der Konstruktionsteile der Mischmaschine kleiner ist und diese eine längere Lebensdauer bekommt.

Um den Einfluß des Gesteinskornes auf den Umhüllungsgrad festzustellen, wurden bei den Versuchen im Laboratorium drei verschiedene Körnungen eines Basaltes aus Rabishau (Schlesien) benutzt. Es waren die Körnungen:

1. zwischen 8 und 15 mm,
2. zwischen 3 und 8 mm, und
3. zwischen 0 und 3 mm.

Mit diesen Körnungen wurden an beiden Mischern Versuche gemacht. Während die Mischungen mit dem Mischer von Werner & Pfleiderer aus den schon erwähnten Gründen nur bedingt zu verwenden waren, zeigten die Untersuchungen am Mischer von Eirich klare Werte, die in Abb. 17 zusammengefaßt sind. Es geht daraus hervor, daß die kürzeste Mischzeit bis zur Erreichung einer 100 prozentigen Umhüllung mit Bindemittel die Körnung 3 bis 8 mm erforderte; die Mischzeiten für die Körnungen 8 — 15 mm und 0 — 3 mm lagen beide höher. Um die Werte der verschiedenen Körnungen miteinander vergleichen zu können, waren die dem Gestein zugegebenen Bindemittelmengen prozentual der Gesteinsoberfläche der drei Körnungen gewählt worden. Die längere Mischdauer der Körnung 0 — 3 mm im Vergleich zu der Körnung 3 — 8 mm ist mit der wesentlich größeren zu umhüllenden Oberfläche der Körnungen 0 — 3 mm leicht zu erklären. Bei der Körnung 8 — 15 mm kann angenommen werden, daß bei dem gröberen Korn die beim Mischen miteinander in Berührung tretenden Oberflächen nicht so groß sind wie bei dem mittleren Korn und dadurch eine längere Mischzeit bis zur völligen Umhüllung bedingen.

Die Menge des zugegebenen Bindemittels spielt für die Güte eines Makadamgemisches eine sehr wichtige Rolle. Wieviel Bindemittel ist nötig, um bei einer mittleren Mischzeit und einer mittleren Mischtemperatur eine gute, vollkommen umhüllte Mischung zu erzielen? Diese Frage, die auch für die Praxis von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist, mußte durch eingehende Versuche geklärt werden. Es wurden

deshalb Versuchsmischungen hergestellt, bei denen je nach der Körnung der Bindemittelgehalt zwischen 2 und 8 Gew.-Proz. lag. Die Versuchsausführung geschah in der Weise, daß zunächst in den Mischer, der durch eine Gasheizung auf die gewählte Temperatur gebracht worden war, das Gestein eingebracht wurde. Dieses war gewaschen und dann in Trockenschränken bis zur Gewichtskonstanz getrocknet worden und kam ebenfalls schon mit der gewünschten Mischtemperatur in den Mischer. Die gewählte Bindemittelmenge wurde in einem Becherglase abgewogen. Da bei Ablassen des Teers in den Mischer eine gewisse Menge an den Wandungen und an dem Boden des Glases haften blieb, wurde zunächst durch zahlreiche Gießversuche die in dem Becherglase zurückbleibende Teermenge gewichtsmäßig festgestellt und dann beim Einfüllen der errechneten Menge zugegeben. Das Glas mit dem Bindemittel wurde auch auf die Mischtemperatur gebracht und dann in die schon laufende Mischmaschine über dem Gesteinsgut ausgegossen.

Die Versuchsergebnisse sind in nachstehender Tabelle zusammengefaßt.

Bindemittelmenge in Prozent	Umhüllte Oberfläche in Prozent		
	0/3	3/8	8/15
2	—	24	43
3	—	55	86
4	30	86	94
5	56	98	100
6	72	100	—
7	85	—	—
8	100	—	—

Diese Tabelle gilt für eine Mischtemperatur von 40° C. Änderungen infolge höherer oder tieferer Mischtemperatur werden im Abschnitt über den Einfluß der Mischtemperaturen behandelt.

Aus dieser Zusammenstellung geht der große und für die Güte der Mischung wichtige Einfluß der Bindemittelmenge hervor. Durch das Kolorimeter-Safraninverfahren gelingt es, einwandfrei die Bindemittelmenge festzustellen, die zu einer 100prozentigen Umhüllung der Mineralmasse notwendig ist.

Ebenso wie die Menge des zugegebenen Bindemittels für die Mischgüte eine große Rolle spielt, ist auch die Dauer des Mischens für die Aufbereitung des Makadamgemisches von Bedeutung. Denn eine zu kurze Mischzeit kann eine unvollkommene Umhüllung ergeben, trotzdem die Bindemittelmenge richtig bemessen ist. Eine zu lange Mischzeit ist unwirtschaftlich infolge Verlustes an Zeit und Antriebsenergie sowie infolge erhöhter Abnutzung der Maschinen. Darum ist die Kenntnis der günstigsten Mischdauer wichtig und wurde eingehend untersucht.

Die Versuchsmischungen wurden ebenso wie die vorhergehenden ausgeführt, aber der Mischer

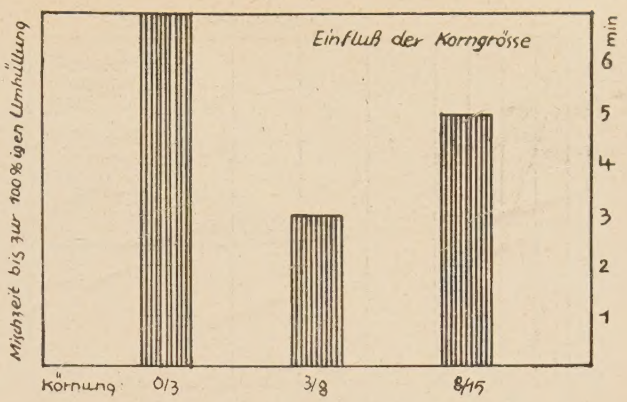


Abb. 17.

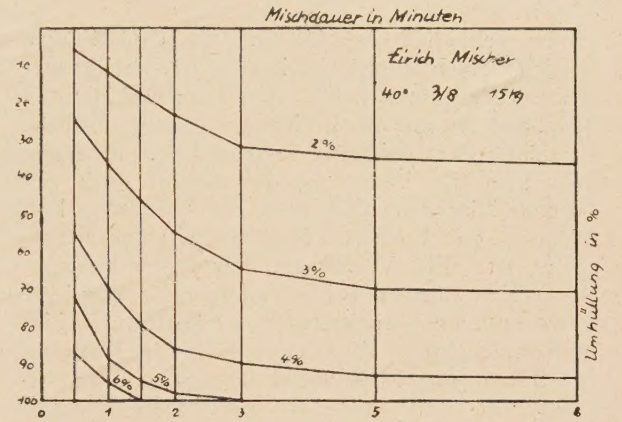


Abb. 18.

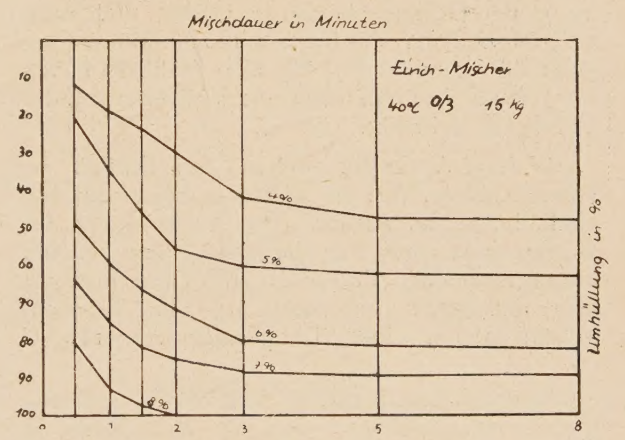


Abb. 19.

wurde jeweils nach 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 5 und 8 Minuten Mischzeit angehalten und eine Probe entnommen, die im Kolorimeter ausgewertet wurde. Die Werte der im Kolorimeter untersuchten Proben wurden zu Kurven zusammengefaßt und vermitteln ein Bild des Einflusses, den die Mischdauer auf die Mischgüte ausübt (siehe Abb. 18, 19, 20). Aus der Zusammenstellung der Kurven ist ersichtlich, daß alle einen gleichen charakteristischen Verlauf nehmen. Anfangs fallen sie steil ab. Dies entspricht

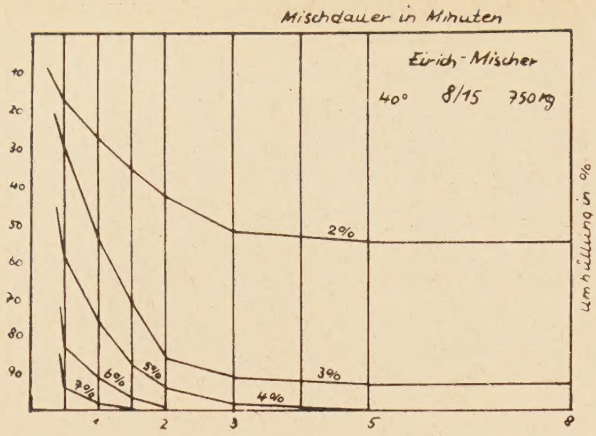


Abb. 20.

einem schnellen Anwachsen des Umhüllungsgrades. Nach der drei Minuten Mischzeitgrenze werden die Kurven flacher und nach fünf Minuten Mischzeit ist nur noch eine ganz unwesentliche Zunahme der Mischgüte festzustellen. Es ergibt sich also die Tatsache, daß schon nach der kurzen Mischzeit von drei bis höchstens fünf Minuten ein höchstes Maß an Umhüllung erreicht ist. Ein Verlängern der Mischzeit über diese Zeit hinaus bringt keine oder nur eine unwesentliche Verbesserung der Mischgüte. Hat man z. B. einem Mineralgemisch der Körnung 3—8 mm 3 % Bindemittel zugegeben, so erreicht man nach einer Mischzeit von drei Minuten schon eine Umhüllung von 65 %, nach weiteren zwei Minuten hat sich die Umhüllung erst auf 70 % der Gesteinsoberfläche erhöht und nach einer Mischdauer von insgesamt acht Minuten beträgt die Umhüllung 71 %, also praktisch haben die letzten drei Minuten keine Verbesserung der Mischgüte gebracht.

Weitere Versuche sollten den Einfluß erkennen lassen, den die Mischtemperatur auf den Umhüllungsgrad ausübt. Die Aufbereitung des Gesteinsgemisches war die gleiche wie bei den vorangegangenen Versuchen, das Gestein wurde also gewaschen und dann in den Trockenschränken bei einer Temperatur von 110° C

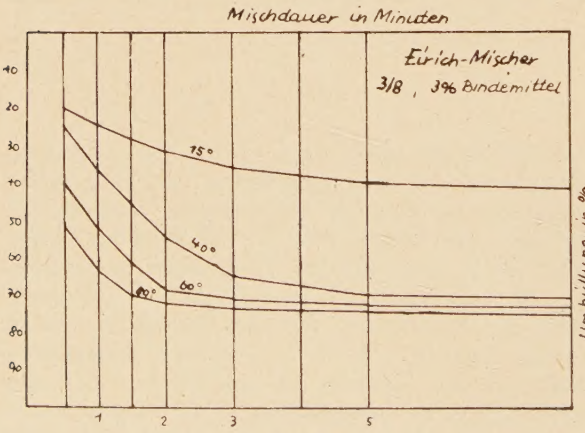


Abb. 21.

getrocknet. Je nach der Temperatur, die die Versuchsmischung haben sollte, wurde das Gestein im Trockenschrank vorbereitet oder bei den Versuchen mit einer Mischtemperatur von 15° C nach der Trocknung im elektrischen Ofen ausgebreitet und bis auf 15° C abkühlen gelassen. Die Bindemittelmenge wurde bei diesen Versuchen konstant gehalten. Nach 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 5 und 8 Minuten wurde jeweils eine Probe entnommen, um auch die Mitwirkung der Temperatur bei einem Mischvorgang erfassen zu können. Die aus den Proben ermittelten Zahlenwerte wurden wiederum zu Kurven zusammengefaßt und vermitteln auf diese Weise ein anschauliches Bild des Temperatureinflusses (Abb. 21).

Die Kurve für die Temperatur von 15° C zeigt einen flachen Verlauf. Hier fehlt der steile Anstieg des Umhüllungsgrades bei Beginn des Mischvorganges, da das kalte Gestein von dem zähen Bindemittel nur langsam benetzt werden kann. Für diese Gesteinstemperatur entfällt damit auch die im vorigen Abschnitt gefundene Erkenntnis, daß der Hauptanteil der Mischarbeit schon in den ersten drei Minuten beendet ist. Je höher die Mischtemperatur steigt, um so steiler wird der Anfang der Kurve, d. h. um so besser ist die Mischarbeit bei Beginn des Mischens. Betrachtet man den Verlauf der Kurven in dem Bereich zwischen drei und acht Minuten, so findet man die Kurven für 40, 60 und 80° Mischtemperatur eng aneinander liegen. Dies bedeutet, daß die Erhöhung der Mischtemperatur von 40 auf 60 oder 80° nur einen unbedeutenden Gewinn an Umhüllung nach sich zieht. Bei der Kurve für 15° Mischtemperatur steigt der Umhüllungsgrad nur sehr langsam an und bleibt auch nach einer Mischzeit von acht Minuten erheblich hinter dem Umhüllungsgrad zurück, den die Kurven für die höheren Mischtemperaturen zeigen.

Für die Praxis spielt die Frage der Gesteinsfeuchtigkeit eine große Rolle, denn nur in den seltensten Fällen wird es möglich sein, das Gesteinsmaterial vor seiner Aufbereitung im Mischer völlig zu trocknen. Die Untersuchungen über diesen Punkt erfolgten am Eirich-Mischer.

Das Gestein wurde wie üblich gewaschen und kam dann in die Trockenschränke. Hier wurde es aber nur so weit getrocknet, bis noch ein bestimmter Prozentsatz Wasser im Gestein vorhanden war. Dieser schwankte für die Versuche zwischen 1—4 %. War der gewünschte Prozentsatz Feuchtigkeit erreicht, kam das Gestein in den Mischer. Hier wurde es bei einer Temperatur von 40° C für Gestein und Bindemittel und einer Bindemittelmenge von 3 % gemischt. Als Ergebnis zeigte sich bei sämtlichen durchgeführten Versuchen eine geringe Vergrößerung der vom Bindemittel unbenetzten Oberfläche, die auf die Kontraktion der Bindemittelhaut infolge des Einflusses der Gesteins-

feuchtigkeit zurückzuführen ist. Die Versuche zeigten, daß die Abminderung der Umhüllung nur gering ist. Bei einer Auswertung dieses Ergebnisses für die Praxis muß aber beachtet werden, daß zwar der Umhüllungsgrad trockenem Gestein gegenüber nur wenig schlechter geworden ist; wie weit aber die Haftfähigkeit der Bindemittelhaut an der Gesteinsoberfläche sich geändert hat, ließ sich im Rahmen dieser Versuche nicht feststellen.

Bei den bisherigen Versuchen wurde besonders darauf geachtet, daß das Gestein stets frei von anhaftendem Füller zur Verwendung kam. Dies wurde besonders durch ein eingehendes Waschen erreicht. Da aber für den praktischen Fabrikationsbetrieb ein Waschen des Gesteinsmaterials undurchführbar ist, mußte auch einmal der Einfluß dieses am Gesteinskorn anhaftenden Füllerstaubes auf die Mischgüte ermittelt werden. Die zu diesem Zweck durchgeführten Untersuchungen ergaben jedoch nur ein so geringes Absinken der Umhüllungswerte, daß daraus gefolgert werden kann, daß das Vorhandensein von geringen Mengen anhaftenden Gesteinsstaubes keine Bedeutung für die Praxis haben kann.

IV. Anwendung des Kolorimeterverfahrens auf Mischungen im praktischen Fabrikationsbetrieb.

Um die im Laboratorium gefundenen Werte auch für Mischgeräte, die im praktischen Fabrikationsbetrieb Verwendung finden, nachzuprüfen und gegebenenfalls zu ergänzen, wurden im Anschluß an die Laboratoriumsmischungen Untersuchungen an einer Großmischanlage im Ruhrgebiet durchgeführt. Hierfür stand eine stationäre Anlage der „Gesellschaft für Teerstraßenbau" zur Verfügung. Diese Anlage befindet sich auf dem Schlackenberg der Gutehoffnungs-Hütte AG. in Oberhausen und stellt eine der modernsten Großanlagen zur Herstellung von Teermakadam dar.

Die als Gesteinsmaterial dienende Hochofenschlacke wird bei einer Temperatur von 1200 bis 1300° C aus den Hochöfen in Kübelwagen abgelassen und in diesen auf den Schlackenberg gebracht. Hier befinden sich rechts und links von den Bahngleisen rechteckige Gruben, etwa 6 m lang und 3 m breit, die von einem Wall von Hochofenschlackengrus umgeben sind. In diese „Schlackenbeete" wird die noch flüssige Schlacke gegossen und kühlt hier langsam ab. Bevor nun die erstarrte und abgekühlte Schlacke weiter verarbeitet wird, kommt erst eine Probe in das Laboratorium, das zur Anlage gehört, und wird hier untersucht. Die wichtigste Prüfung ist Untersuchung auf Beständigkeit oder Zerfall der Schlacke durch Bestrahlung mit filtriertem, ultraviolettem Licht mit Hilfe einer „Analysen-Quarzlampe". Frische, raumbeständige Schlacke

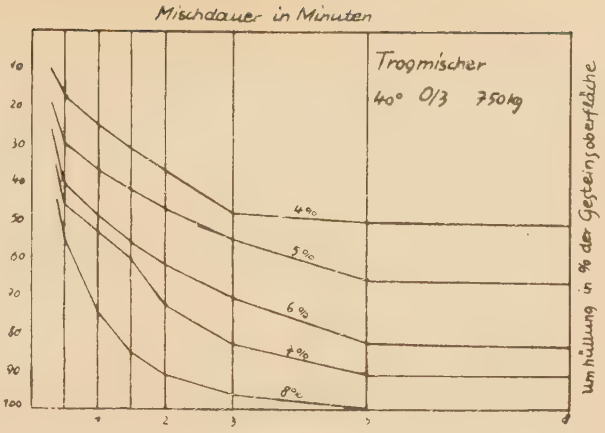


Abb. 22.

erscheint im Licht der Quarzlampe einheitlich hell- oder dunkelviolett, während jedoch Hochofenschlacke, die infolge zu hohen Kalkgehaltes bereits im Zerfall begriffen ist, zahlreiche Flecken zeigt, die unter den Strahlen der Quarzlampe gelblich aufleuchten. Ist die Schlacke des Beetes als brauchbar befunden worden, so wird sie mit Hacke und Hammer gebrochen und in Loren verladen. Von einer Seilzugbahn werden die Loren zu einem Kreiselbrecher gebracht, der je nach seiner Einstellung die rohen Schlackenbrocken bricht. Zur weiteren Zerkleinerung kann das Material noch über eine Walzmühle geleitet werden, die den Schotter zu Splitt zermahlt. Von den Brechern gelangt die Schlacke über ein Transportband zur Makadamaufbereitungsanlage. Hier werden zunächst in einer Siebtrommel die einzelnen Körnungen voneinander getrennt und fallen in große Bunker. Diese münden in den eigentlichen Mischraum, wo in drei Mischern das aus den Bunkern abgezogene und durch Meßwagen gewogene Material verarbeitet wird. Durch Öffnen einer Verschlußklappe an den Mischmaschinen wird das fertig gemischte Material entweder in die unter der Mischanlage stehenden Eisenbahnwaggons oder auch auf Lastwagen entleert.

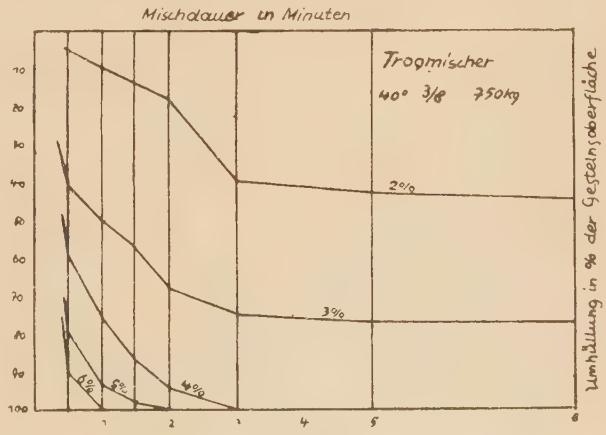


Abb. 23.

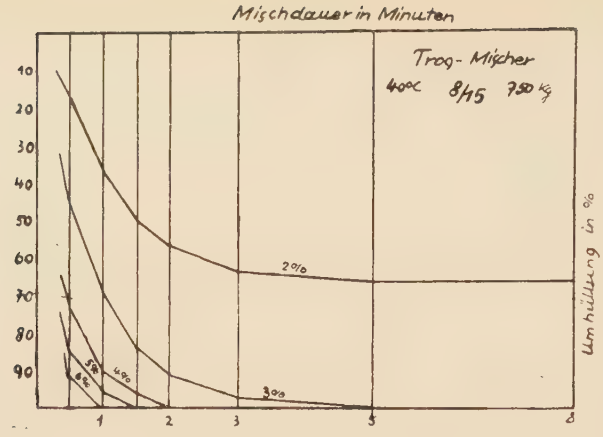


Abb. 24.

Von den drei vorhandenen Mischmaschinen waren zwei Flügelmischer von gleicher Konstruktion, während die dritte ein Tellermischer war.

Für die Untersuchungen standen also zwei verschiedene Typen zur Verfügung. Der Flügelmischer (Abb. 14) war ein englisches Fabrikat: Huscox, Ldt., London, der Tellermischer (Abb. 15) stammte von den Eschwerken, Duisburg. Der Flügelmischer bestand aus einem horizontal gelagerten runden Trog, der 160 cm lang und 90 cm breit war. Seine Tiefe betrug ungefähr 60 cm. In der Längsachse des Troges lief eine Welle, an der die Mischarme befestigt waren. Am Ende der Mischarme befinden sich Mischschaufeln, die durch abwechselnde Schrägstellung das Mischgut auch noch in der Längsrichtung hin und her bewegten. Die Gesteinsmenge, die jeweils gemischt wurde, betrug 750 kg. Der Tellermischer bestand aus einem kreisförmigen Trog, in dem um eine senkrecht stehende Achse zwei Mischarme und zwei Koller kreisten. Die Mischfinger selbst am Ende der Mischarme drehten sich noch einmal um eine Achse und erhöhten durch diese doppelte Bewegung die Mischwirkung. Auch für diesen Mischer betrug die aufgegebene Gesteinsmenge 750 kg. Beide Maschinen hatten neben ihrer schon guten Mischleistung noch eine ausgesprochene Knetwirkung.

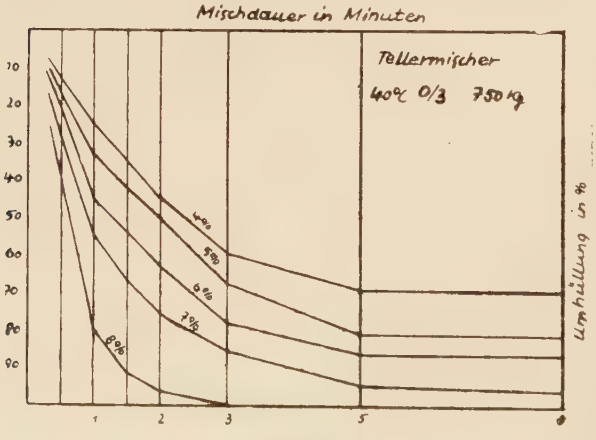


Abb. 25.

Diese wird durch den Druck der Mischbacken, Flügel oder Koller ausgeübt und ist um so stärker, je niedriger die Mischtemperatur liegt und je zäher das Bindemittel ist. Von den vier verschiedenen Mischmaschinen, die während der Versuche im Laboratorium und auf der Großanlage der „Gesellschaft für Teerstraßenbau" benutzt wurden, besaßen drei Knetwirkung. Der Laboratoriumsmischer von Werner & Pfleiderer und ebenso der Trogmischer auf der Großanlage in Oberhausen erzeugten den für die Knetwirkung erforderlichen Druck einmal durch die beiden S-förmigen Flügel und beim Trogmischer durch die am Ende der Mischarme sitzenden Mischschaufeln. Beim Tellermischer waren es zwei Koller, die das Mischgut zusammendrückten, das dann wieder durch die kreisende Bewegung der Mischfinger aufgelockert wurde. Am Eirich-Mischer dagegen waren die Koller nicht angebracht, so daß hier von einem nicht knetendem Mischer gesprochen werden kann.

Wie die Versuchsreihen, deren Ergebnisse durch den Verlauf von Kurven (Abb 22/27) dargestellt sind, zeigen, ist die Mischwirkung der Maschinen mit Knetwirkung besser als die des Eirich-Mischers. Man kann annehmen, daß durch das Mischen allein das Bindemittel zunächst nur verteilt wird, während bei der zusätzlichen Mitwirkung des Knetens die Gesteinskörner aneinander gerieben werden. Dadurch wird die Oberfläche des Minerals schneller und intensiver umhüllt, die in derselben Zeit erzielte Mischgüte ist also besser.

Der Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit der Mischgeräte konnte bei den zur Verfügung stehenden Großmischern nicht untersucht werden, da es technisch unmöglich war, die Umdrehungszahl der Mischer zu ändern.

Um den Einfluß des Gesteinskornes auf den Umhüllungsgrad festzustellen, wurden bei den Versuchen im Großbetrieb, ebenso wie bei den Untersuchungen im Laboratorium, drei verschiedene Körnungen benutzt. Es kamen die folgenden Körnungen einer Hochofenschlacke zur Verwendung:

1. Körnung 8 — 15 mm,
2. Körnung 3 — 8 mm, und
3. Körnung 0 — 3 mm.

Die mit dem Trog- und dem Tellermischer angestellten Versuche ergaben, daß bei gleicher Mischdauer der Umhüllungsgrad und damit also die Mischwirkung des Trogmischers bei Verwendung der Körnung 8/15 mm besser war als die des Tellermischers. Bei der Körnung 3 bis 8 mm ist die Mischwirkung beider Maschinen annähernd gleich, während bei den Korngrößen zwischen 0 und 3 mm sich der Tellermischer als der leistungsfähigere erwies. Dies hat wohl seinen Grund darin, daß der Tellermischer durch seine Kollergänge die kleinen Körnungen besser zusammendrücken kann als die groben, sperrigen Anteile einer 8—15-mm-Mischung.

Vergleicht man nun den Grad der Umhüllung bei diesen Versuchen mit den Ergebnissen der Laboratoriumsversuche am Eirich-Mischer, so findet man, daß die Mischwirkung der Großversuche durchweg etwas günstiger ist als bei den Mischungen am Eirich-Mischer. Dies hat zweifellos seinen Grund in der Knetwirkung der beiden Großmischer und beweist damit die Ergebnisse des ersten Abschnittes.

Die Durchführung der Mischversuche an den Maschinen der Großanlage zur Feststellung des Einflusses der Bindemittelmenge begann mit dem Ablassen der verwendeten Körnung aus dem Bunker in einen Meßwagen (Abb. 13). Die Temperatur der aus den Bunkern kommenden Hochofenschlacke lag infolge der noch nicht beendeten Erkaltung im Mittel bei annähernd 40 °C und wurde bei längerer Lagerzeit geringer. Aus den Meßwagen gelangte das Mineralgemisch sofort in die Mischer. Zur Messung der zuzusetzenden Bindemittelmenge diente ein Gefäß, das sich über dem Mischer befand (Abb. 14). In dieses fließt das Bindemittel durch Leitungen, die durch Dampf erwärmt werden.

Bei den Versuchsmischungen wurde zunächst in die laufende Maschine die abgemessenen 750 kg Hochofenschlacke eingeschüttet und dann das Bindemittel zugegeben, das aus dem Meßgefäß durch zahlreiche Düsen auf das Mineral floß.

Die Ergebnisse sind in nachstehenden Tabellen a) und b) zusammengefaßt.

Ein Vergleich dieser Tabellen mit den Zahlen der Laboratoriumsversuche am Eirich-Mischer zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den Großmischern und dem Laboratoriumsmischer. Dieser ist nicht auf den Einfluß der geringeren aufgegebenen Gesteinsmenge zurückzuführen, sondern hat seinen Grund in der durch die Knetwirkung verstärkten besseren Mischwirkung des Trog- und Tellermischers.

a) Untersuchungen am Trogmischer.

Bindemittelmenge in Prozent	Umhüllte Oberfläche in Prozent		
	0/3	3/8	8/15
2	—	18	56
3	—	68	91
4	36	94	100
5	47	100	—
6	62	—	—
7	73	—	—
8	91	—	—

b) Untersuchungen am Tellermischer.

Bindemittelmenge in Prozent	Umhüllte Oberfläche in Prozent		
	0/3	3/8	8/15
2	—	33	50
3	—	71	89
4	45	95	96
5	50	100	100
6	63	—	—
7	76	—	—
8	96	—	—

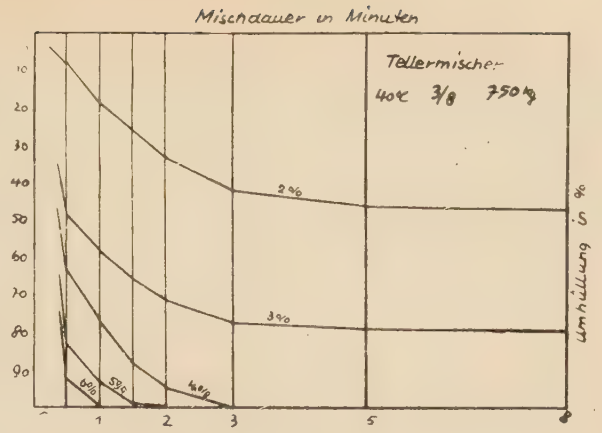


Abb. 26.

Um die Ergebnisse der Laboratoriumsversuche am Eirich-Mischer auch für die Praxis bestätigen zu können, wurden auch über die Frage des Einflusses der Mischdauer an den beiden zur Verfügung stehenden großen Mischern Versuche gemacht. Diese wurden ebenso durchgeführt wie die Laboratoriumsversuche, d. h. nach je 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 5 und 8 Minuten wurde je eine Probe entnommen. Die Bindemittelmenge schwankte auch hier ebenso wie bei den Laboratoriumsversuchen zwischen 2 und 8 % je nach der Körnung. Die Ergebnisse der Versuche sind in den Abbildungen 22—27 zusammengefaßt. Der Verlauf der gewonnenen Kurven ist gleich dem der Laboratoriumsversuche. Dies beweist, daß auch Laboratoriumsmischer trotz der geringeren Mischmenge Ergebnisse liefern, die für die Praxis Wert haben. Ein Vergleich der Kurven der großen, im praktischen Fabrikationsbetrieb gebräuchlichen Mischer mit den Kurven des kleinen Laboratoriumsgerätes zeigt zwar ein besseres Ergebnis für die Großmischer. Dies liegt aber, wie schon früher erwähnt, an der Konstruktion des Mischers. Der charakteristische Verlauf ist bei allen Geräten der gleiche. Wir sehen, daß es keinen Zweck hat, eine Verbesserung einer mageren Mischung durch übermäßig langes Mischen zu erreichen. Nach un-

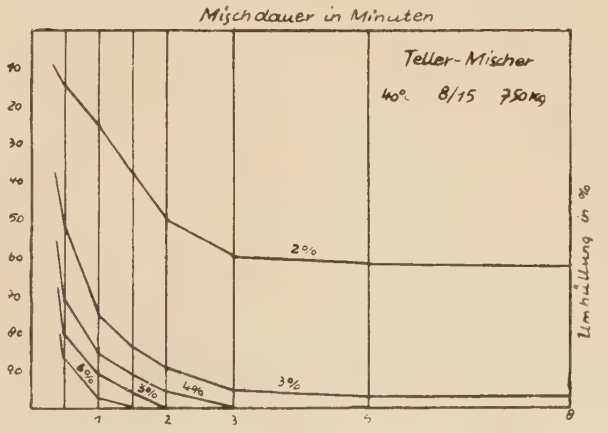


Abb. 27.

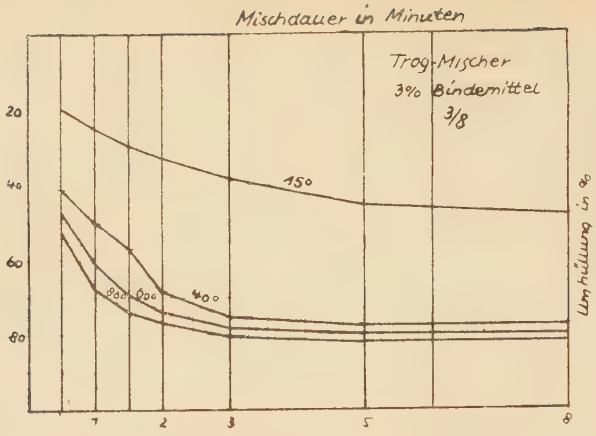


Abb. 28.

gefähr drei Minuten Mischzeit ist die mögliche Mischgüte nahezu hundertprozentig erreicht, ein weiteres Mischen bringt keine Vorteile.

Zur Bestimmung des Einflusses der Mischtemperatur wurden als Versuchstemperaturen für die Versuche ebenso wie im Laboratorium 15, 40, 60 und 80 ^{0} C gewählt. Die Aufbereitung des Gesteinsmaterials erfolgte für die Temperaturen über 40 ^{0} C in einer Trommel, die mit Öl beheizt die Einhaltung der gewünschten Temperaturen ermöglichte. Kleine Abweichungen über die Mischtemperatur hinaus konnten auch noch in einem Bunker, in den das erhitzte Gestein durch ein Becherwerk aus der Trommel gebracht wurde, ausgeglichen werden. Bei der Versuchsmischung mit einer Gesteinstemperatur von 15 ^{0} C wurde das Gestein auf dem Boden ausgebreitet und so lange liegen gelassen, bis die Temperatur von 15 ^{0} C erreicht war. Das Bindemittel wurde ebenfalls vor dem Einlassen in den Mischer auf die entsprechende Gesteinstemperatur gebracht. Da aber der Teer bei der Versuchstemperatur von 15 ^{0} C zu zähflüssig war und nicht durch die Röhren der Teeranlage fließen konnte, mußte er bei diesen Versuchen mit einer Temperatur von 40 ^{0} C zugeführt werden. Die Ergebnisse zeigen die Abbildungen 28 und 29. Sie stimmen im wesentlichen mit den Ergebnissen der Laboratoriumsversuche überein

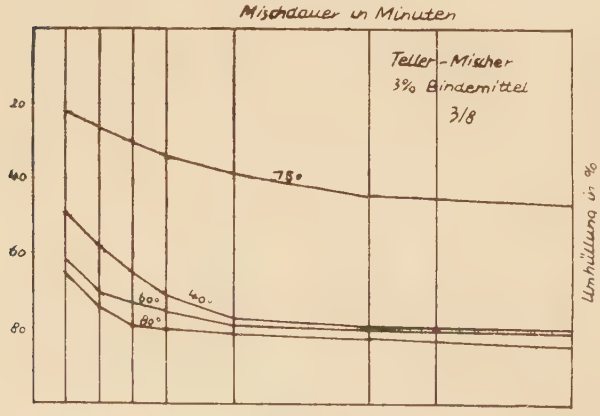


Abb. 29.

und zeigen nur Abweichungen auf Grund des verwendeten Mischgerätes, der charakteristische Verlauf der Kurven ist bei allen Versuchen der gleiche. Auch der Verlauf der Linie für die Mischtemperatur 15 ^{0} C ist ähnlich dem Verlauf der gleichen Linie des Laboratoriumsmischers, trotzdem das Bindemittel bei dem Großversuch 40 ^{0} C beim Einlassen in den Mischer hatte. Zusammenfassend kann man also feststellen, daß eine Erhöhung der Mischtemperatur über 40 ^{0} C hinaus für die Güte der Mischung keine Bedeutung hat. Die Verkürzung der Mischzeiten bei Benutzung höherer Temperaturen ist ebenfalls gering. Der Vorteil der Mischzeitersparnis wird, vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, durch den größeren Energieaufwand zur Erzeugung dieser höheren Temperaturen mehr als ausgeglichen.

Untersuchungen über den Einfluß der Gesteinsfeuchtigkeit und den Einfluß des anhaftenden Gesteinsstaubes ließen sich aus technischen Gründen an den Großmischern des praktischen Fabrikationsbetriebes nicht durchführen. Da aber ein Vergleich der Untersuchungen im Laboratorium mit denen der Großmischer zeigt, daß der Verlauf des Mischvorganges in beiden Fällen der gleiche ist, so können die Ergebnisse der Laboratoriumsversuche auch für die Praxis Verwendung finden.

V. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die in vorstehenden Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse sind kurz zusammengefaßt folgende:

Das entwickelte Verfahren zur Feststellung des Umhüllungsgrades eines Makadamgemisches, die Safranin-Kolorimetermethode, ist ein geeignetes Mittel für die Untersuchung von Splitten, für deren Gütebestimmung geeignete genormte Prüfverfahren noch fehlen. Es ist für Bitumen- und Teersplitte gleich gut zu gebrauchen.

Die Anwendung der Safranin-Kolorimetermethode auf Teersplittmischungen brachte folgende Ergebnisse:

1. Mischmaschinen mit Knetwirkung umhüllen die Oberfläche eines Gesteines schneller und intensiver als Maschinen ohne Knetwirkung (Freifallmischer).

2. Für jeden Mischer läßt sich eine günstigste Umlaufgeschwindigkeit der Mischorgane ermitteln. Eine Unterschreitung dieser Geschwindigkeit erfordert eine längere Mischdauer, eine Überschreitung hat keine Verbesserung der Mischgüte zur Folge, sondern diese kann sich sogar verschlechtern. Bei den untersuchten Mischern lag der günstigste Punkt bei 50 Umdrehungen je Minute.

3. Die zu einer völligen Umhüllung (100 $^0/_0$) notwendige Bindemittelmenge ist für jede Körnung verschieden. Mit Hilfe der Safranin-Kolorimetermethode läßt sich für jede Körnung

die Bindemittelmenge genau feststellen, die zu einer völligen Umhüllung notwendig ist.

4. Bei richtiger Bindemittelzugabe und richtiger Mischtemperatur wird schon nach einer Mischzeit von drei bis fünf Minuten ein höchstes Maß an Umhüllung erreicht. Eine Verlängerung der Mischzeit darüber hinaus bringt keine oder nur eine unwesentliche Verbesserung der Mischgüte.

5. Eine Erhöhung der Mischtemperatur über 40 ^{0}C hinaus hat für die Güte der Mischung keine Bedeutung. Die Verkürzung der Mischzeit ist bei Benutzung höherer Temperaturen nur gering und wird durch den größeren Energieaufwand zur Erzeugung der höheren Temperaturen mehr als ausgeglichen.

6. Der Einfluß der Gesteinsfeuchtigkeit und des anhaftenden Gesteinsstaubes ergab nur ein geringes Absinken der Mischgüte, so daß das Vorhandensein von geringen Mengen Feuchtigkeit und anhaftenden Staubes keine Bedeutung für die Praxis haben kann.

Literaturverzeichnis.

Casagrande: Feuchtigkeitsschäden im Straßenbau. „Der Straßenbau" 1937, Heft 21.

Bierhalter: Mechanische Prüfverfahren zur Bewertung von Asphaltmassen für Straßenbeläge. „Bitumen" 1935, S. 128 u. 171.

Bierhalter: Die praktische Bedeutung der mechanischen Prüfverfahren. „Bitumen" 1935, S. 171.

Gerlach: „Die Prüfung der Mischvorgänge im bituminösen Straßenbau." Dissertation, 19. Februar 1936, Technische Hochschule Berlin.

Hasenbein: Neue Maschinen für den Asphalt- und Teerstraßenbau. „Teer und Bitumen" 1937, S. 397.

Herrmann: Teermakadamdecken als zeitgemäße Befestigung von Landstraßen. „Der Straßenbau" 1937, Heft 15.

Herrmann: Teermischmakadam. „Der Straßenbau" 1937, S. 153, 163.

Hirschwald: Gesteinskunde.

Kunde: Aus der Entwicklung des bituminösen Deckenbaues auf den Reichsautobahnen. „Bitumen" 1938, Heft 5.

Lüer: Teerstraßenbau unter besonderer Berücksichtigung der Hochofenschlacke.

Mangold: Straßenbau- und andere Baumaschinen. „Teer und Bitumen" 1938, Heft 7.

Neumann: Die bituminöse Dauerdecke für Kraftfahrbahnen: Asphaltgrobbeton.

Rentsch: Fragen des Straßenbaues. „Asphalt und Teer" 1938, Heft 1.

Rothfuchs: Zusammenhänge zwischen dem Kornaufbau von Schwarzdecken und ihrer Dichtigkeit. „Der Straßenbau" 1937, Heft 12.

Schneider: Einstreu- und Tränkverfahren für die Befestigung von Land- und Siedlungsstraßen. „Asphalt und Teer" 1938 Heft 3.

Wilhelmi: Untersuchung der Adsorption der im Straßenbau verwendeten Gesteinsarten. „Bitumen" 1931, Heft 2 u 4.

Veröffentlichungen des Hauptausschusses der Zentralstelle für Asphalt- und Teerforschung, 1937.

Lebenslauf.

Am 5. September 1909 wurde ich in Breslau als Sohn des Vermessungs-Inspektors Alfred Haupt und seiner Ehefrau Helene, geb. Scheidt, geboren.

Ich besuchte zunächst die Volksschule, dann das Johannes-Gymnasium und schließlich das Realgymnasium am Zwinger in Breslau, wo ich Ostern 1930 die Reifeprüfung bestand. Darauf studierte ich an der Technischen Hochschule Breslau und bestand am 30. Oktober 1935 an der Fakultät für Bauwesen die Diplom-Hauptprüfung.

Seit 1. November 1935 arbeite ich im Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule Breslau unter der Leitung von Herrn Professor Hartleb. Hier entstand auch die vorliegende Arbeit.